

Сукцессия озер в направлении от мезотрофного с признаками олиготрофии к дистрофному типу сопровождается понижением площади водоема, прозрачности воды и числа видов гидробионтов, закономерным увеличением цветности, перманганатной и бихроматной окисляемости, содержания аммонийного азота и железа.

Известно, что численность циклопоидных копепод и большинства других зоопланктонных групп (простейших, коловраток и кладоцер) положительно коррелирует с первичной продуктивностью озер [5]. Обилие и трофическая структура коловраток часто отражают трофический статус озера [3].

Высокая биомасса зоопланктона в дистрофных озерах объясняется интенсивным развитием ацидофильного ветвистоусого рачка *Holopedium gibberum*. Известно, что только небольшое число малых кладоцер, таких как *Bosmina*, *Chydorus*, *Diaphanosoma*, а также *Daphnia*, *Holopedium* и *Polyphemus*, могут переносить очень кислые воды. Отличительной особенностью озер дистрофного типа является явное преобладание по биомассе ветвистоусых ракообразных над веслоногими.

1. Китаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М., 1984.
2. Митрахович П.А., Ляхнович В.П. //Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 1989. № 3. С. 41.
3. Wallace R.L., Shell T.W. // Ecology and classification of North American freshwater invertebrates/Ed. J.H. Thorp, A.P. Covich. San Diego, 2001. P. 195.
4. Dodson S.I., Frey D.G. //Ibid. P. 849.
5. Williamson C.E., Reid J. W. //Ibid. P. 915.

Поступила в редакцию 10.12.2004.

Петр Анисимович Митрахович - кандидат биологических наук, доцент кафедры физической географии материков и океанов и методики преподавания географии.

УДК 550.4:504.05(476)

Г.И. МАРЦИНКЕВИЧ, А.Д. ШКАРУБО, И.П. УСОВА

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА г. МОГИЛЕВА ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

200 samples collected in the city of Mahilyow were analysed for mobile forms of ten heavy metals - Zn, Cu, Ni, Cr, Co, Pb, Mn, Fe, Cd, Sr. The analysis proves that Mahilyow is dominated by areas with average level of contamination (2-5 threshold contamination units) and low (less than 1 unit) levels of contamination.

Состояние окружающей среды городов обычно оценивается по уровню загрязнения природных факторов - почв, воздуха, воды, снежного покрова, донных отложений водоемов. Среди них особую роль играет почвенный покров, в котором происходит накопление загрязняющих веществ, причем основная их масса осаждается из воздуха, куда попадает практически из всех стационарных и передвижных источников. Наиболее опасной для биосферы и человека группой химических элементов, накапливающихся в почве, являются тяжелые металлы.

Изучение загрязнения городских почв Беларуси тяжелыми металлами началось в последней четверти XX в., в частности, В.К. Лукашев и Л.В. Окунь [1, 2] опубликовали первую комплексную монографию по загрязнению территории г. Минска [3]. Позднее педогеохимические исследования городов (Минска, Гомеля, Светлогорска) проводили В.Б. Кадацкий, Л.И. Васильева [4], В.С. Хомич, С.В. Какарека, Т.И. Кухарчик [5, 6].

Геохимическое обследование почв г. Могилева - одного из наиболее загрязненных городов Беларуси - было проведено впервые в 1989-1990 гг. группой специалистов аналитического центра Института минералогии и геохимии редких элементов АН СССР под руководством Ю.П. Соткова. Карта загрязнений почв города, составленная в 1992 г. по результатам этих исследований, до настоящего времени используется в различных разработках.

Наши геохимические исследования являлись частью проекта «Анализ городских ландшафтов и территориального деления для рационального планирования и управления городской средой», проводившегося совместно с Федеральным институтом технологий в Лозанне (EPFL, Швейцария) [7]. Одна из задач этого проекта - изучение степени загрязнения почв г. Могилева тяжелыми металлами. Для ее реализации в 2001-2002 гг. в пределах города, территория которого условно была разбита на квадраты 0,5х0,5 км, осуществлялся отбор образцов почвы. Расположение точек отбора внутри квадрата корректировалось в соответствии с ландшафтной ситуацией. Пробы отбирались из верхнего горизонта почвенного профиля с глубины 0-20 см; для геохимических профилей центральной части города и долины р. Днепр отбирались два образца - с глубин 5 и 20 см. Всего было взято более 200 проб. Точки отбора привязаны к регулярной геодезической сетке и электронной карте.

Дальнейшую обработку образцов и определение в них тяжелых металлов проводили в лабораториях химического факультета БГУ. Был использован сравнительно простой, но высокопроизводительный и высокоточный метод атомно-абсорбционной спектрофотометрии, позволяющий определять содержание в почвах микроэлементов на уровне ПДК. Методика проведения анализа агрохимических проб на определение в них тяжелых металлов включает приготвление почвенных вытяжек [8]. В данном случае использовались азотнокислые вытяжки, так как одномолярный раствор азотной кислоты наиболее полно извлекает тяжелые металлы из образцов почвенного грунта.

Навески предварительно высушенных проб (10 г) измельчали, растирали в фарфоровой ступке и просеивали через сито с размером ячеек 1 мм, чтобы обеспечить максимальное извлечение целевых компонентов. Затем почву помещали в пластиковые емкости объемом 80 мл, заливали 20 мл 1 М раствора HNO_3 и тщательно перемешивали. Образцы выдерживали в контакте с кислотой 1 сут. После этого в каждую емкость добавляли по 30 мл дистиллированной воды, все тщательно перемешивали, затем раствор, содержащий ионы тяжелых металлов, отделяли от частиц почвы фильтрованием.

Растворы были проанализированы методом пламенной атомной абсорбции с использованием воздушно-ацетиленового пламени на спектрофотометре AAS-1 (Карл Цейс, Йена). Чтобы исключить влияние примесных ионов, содержащихся в растворе кислоты, на аналитический сигнал, измерения проводили на относительно холостом растворе, содержащем те же компоненты, что и анализируемый раствор, за исключением образца почвы. В результате данные содержания подвижных форм десяти тяжелых металлов в кислотной вытяжке пересчитывали с учетом массы пробы и объема раствора для получения значений содержания целевых компонентов в миллиграммах на килограмм почвы.

Обработка данных производилась в ГИС ArcView 3.2®. По каждому элементу (цинку, свинцу, никелю, марганцу, железу, меди, кобальту, кадмию, хрому, стронцию) была создана база данных, привязанная к точкам отбора. Пространственное распределение элементов рассматривалось как «поверхность отклика», полученная посредством интерполяции показателей концентрации металлов в узлах регулярной сетки, соответствующих фактическим значениям содержания элементов в точках отбора. Таким образом, значения концентраций металлов были представлены в grid-форме. Для построения пространственных распределений концентраций тяжелых металлов использовали методы обратных взвешенных расстояний (OBP) и кригинг-метод, реализованные при помощи модулей ArcView 3.2® - Spatial Analyst и Surface Interpolator (sample). Пространственные тенденции в распределении концентраций металлов (пространственного тренда) устанавливали с помощью полиномиальной аппроксимации поверхностей отклика по методу наименьших квадратов.

На основании данных виртуальных таблиц со значениями концентраций по десяти элементам построено 60 grid-тем с поверхностями отклика. Возможность сопоставления результатов при построении поверхностей для всех металлов в рамках одного метода обеспечивалась использованием одних и тех же значений управляющих данных. Для того, чтобы иметь возможность учесть все точки,

включая их сгущения в местах прокладки геохимических профилей, и добиться некоторого сглаживания поверхностей отклика при использовании методов ОВР и кригинга, количество учитываемых соседних точек было увеличено с 12 (как это установлено программой по умолчанию) до 30. Для метода ОВР использовали порядок степени 2, т. е. каждую из соседних точек учитывали с весом, обратно пропорциональным квадрату расстояния до них от точки интерполяции. Для построения пространственных трендов был выбран пятый порядок аппроксимирующей полиномиальной поверхности, что позволяет отразить основные тенденции пространственного распределения концентраций металлов без усложнения общей картины. Как и следовало ожидать, метод ОВР дал лучшую аппроксимацию при малых значениях концентраций; а кригинг - при больших значениях и на приграничных областях.

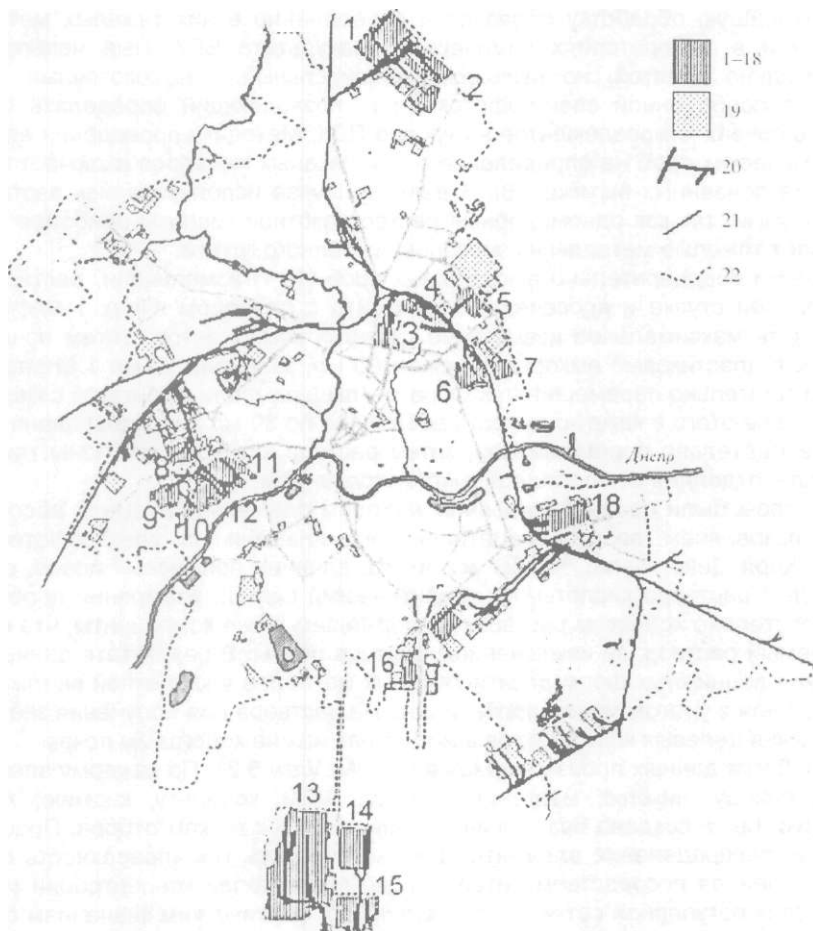


Рис. 1. Основные стационарные источники загрязнения воздушного бассейна г. Могилева. 1 - «Могилевтрансмаш», 2 - Комбинат силикатных изделий, 3 - «Строммашина», 4 - Могилевский металлургический завод, 5 - «Могилевлифтмаш», 6 - «Электродвигатель», 7 - «Техноприбор», 8 - Желатиновый завод, 9 - Регенераторный завод, 10 - Кожевенный завод, 11 - Завод искусственного волокна, 12-ТЭЦ-1, 13 - «Химволокно», 14 - Химкомбинат «Заря», 15-ТЭЦ-2, 16 - «Красный металлист», 17 - Мясокомбинат, 18 - МоАЗ им. Кирова, 19 - другие промышленные, транспортные предприятия и складские комплексы, 20 - основные улицы, 21 - железные дороги, 22 - граница города

В результате ГИС-анализа получена серия электронных карт, каждая из которых отражает территориальное распределение концентраций одного из тяжелых металлов в почвах г. Могилева. Итогом работы явилась карта оценки суммарного загрязнения почв, построенная с учетом только тех элементов, для которых:

а) регламентированы значения ПДК (по цинку, меди, никелю, хрому, кобальту);
 б) интерполяция значений дала результат, превышающий ПДК (по цинку, меди, никелю, хрому).

Оценка суммарного загрязнения почв производилась по формуле [3]:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_k \cdot (n-1),$$

где n - число учитываемых элементов, коэффициент концентрации K_k определяли как соотношение фактического содержания элемента в образце к ПДК этого элемента.

Составленные карты позволяют выявить основные закономерности распространения тяжелых металлов в почвенном покрове г. Могилева.

Прежде всего обращают на себя внимание крупные полигеохимические аномалии, связанные со значительной концентрацией цинка и стронция. Максимальное содержание цинка (165-670 мг/кг) зафиксировано в западной части города, на территории, примыкающей к крупной промышленной зоне, сформированной Заводом искусственного волокна, ТЭЦ-1, Регенераторным и Желатиновым заводами, к которым прилегают поля фильтрации (рис. 1). На этом участке также отмечаются максимальные концентрации стронция (15-40 мг/кг) и повышенное содержание кадмия (1,6-5,0 мг/кг), в то время как содержание свинца (10-20 мг/кг), меди (5-10 мг/кг), железа (1000-1200 мг/кг) здесь в пределах средних показателей, а марганца, кобальта, хрома и никеля - намного ниже средних. Другая значительная аномалия цинка (до 620 мг/кг) приурочена к северной промышленной зоне, включающей завод «Трансмаш» и Комбинат силикатных изделий. В этом же районе зафиксированы повышенные (по сравнению со средними значениями по городу) концентрации стронция (до 17,6 мг/кг) и меди (до 11,7 мг/кг).

Крупная комплексная полигеохимическая аномалия отмечена в центре правобережной части города. Она начинается от поймы Днепра и захватывает исторический центр города до пр. Мира (рис. 2). Здесь концентрации цинка составляют 40-108 мг/кг, стронция - 7-15, реже - до 40 мг/кг, свинца - 10-40, иногда - до 60 мг/кг, меди - 3-10, реже - 10-20 мг/кг. В северной части данной аномалии, где располагаются заводы «Строммашина» и Могилевский металлургический, также отмечаются повышенные (относительно общегородского фона) концентрации марганца (300-500 мг/кг), железа (1000-1200 мг/кг), кобальта (2-3, редко до 3,5 мг/кг). В южной части аномалии установлено повышенное содержание кадмия (до 1,6-5 мг/кг).

Наконец, еще одна крупная полигеохимическая аномалия зафиксирована в микрорайоне правобережной (южной) части города и у примыкающего к Мясокомбинату промышленного узла. Ее формируют повышенные концентрации цинка (40-85, в отдельных точках до 108 мг/кг), стронция (7-12, редко до 15 мг/кг), а также средние меди (3-5 мг/кг) и железа (1000-1200 мг/кг).

Важным эколого-градостроительным элементом ландшафта г. Могилева является р. Днепр, разделяющая город на две неравные части. В пойме реки зафиксированы повышенные концентрации не только цинка и стронция, но и других элементов, мало распространенных в других районах. Для участка правобережной поймы, расположенной между устьями рек Дубровенка и Дебря, характерно значительное содержание цинка (48,2-96,1 мг/кг), меди (9,3-22,9 мг/кг), в меньшей степени марганца (313-738 мг/кг). Несколько выше по течению Днепра, в левобережной части поймы (около Могилевского автомобильного завода им. Кирова), геохимическая аномалия характеризуется повышенным содержанием цинка (35-83 мг/кг) и стронция (до 22,3 мг/кг). Также можно отметить присутствие железа (1000-1160 мг/кг) и меди (от 3,25 до 11 мг/кг), соответствующее среднему уровню загрязнения. Из других микроэлементов наименьшие концентрации зафиксированы для кобальта, никеля, хрома.

Карта суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами (см. рис. 2) синтезирует информацию по элементам, для которых установлены ПДК. Из описанных выше аномалий четко прослеживаются четыре со значениями коэффици-

ента суммарного загрязнения 5-20. Все они расположены в правобережной части города и территориально приурочены к западной части города вдоль долины Днепра, центру города, включая долину р. Дубровенка и междуречье Дубровенки и Дебри, водосбору р. Дубровенка в ее верховьях, крайней северо-восточной части города.

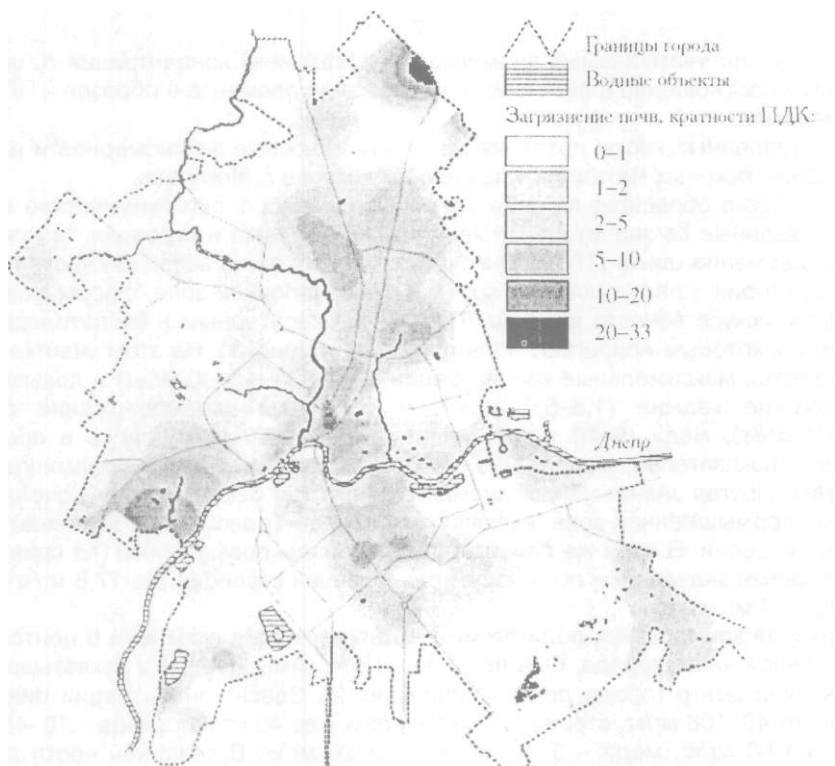


Рис. 2. Суммарное загрязнение почвенного покрова г. Могилева тяжелыми металлами

В ареалах описанных аномалий коэффициент суммарного загрязнения колеблется от 2 до 5. Контуры ареалов протягиваются с севера на юг через весь город, захватывая его центральную часть, а также с запада на восток вдоль долины Днепра. Основным загрязнителем является цинк, в меньшей степени - медь. Содержание кобальта и хрома в почвах повсеместно ниже значения ПДК. В центральной части города в долинах рек Днепр и Дубровенка отмечена локальная аномалия никеля с превышением ПДК в 1,5 раза.

Приведенный материал позволяет сделать следующие выводы.

1. В пределах городской черты г. Могилева выделяются три зоны по уровню загрязнения почв тяжелыми металлами [9].

Первая - зона сильного загрязнения с коэффициентом 5-20. Эта зона представлена несколькими участками и совпадает с ареалами наиболее крупных полигеохимических аномалий, занимающих около 10% территории города. Как правило, загрязненные участки размещаются в промышленных зонах и вблизи оживленных магистралей.

Вторая - зона среднего загрязнения с коэффициентом 2-5. Такие показатели преобладают в пределах города, образуя крупные ареалы, покрывающие до 50 % городской территории.

Третья - зона минимального загрязнения с показателями коэффициента ниже 1 (около 40 % площади города). Эта фактически чистая территория крупными участками представлена по левобережью Днепра, обрамляя долину в ее юго-западной части. Другой крупный чистый участок начинается от р. Днепр в восточной части города и простирается на юго-восток, смыкаясь с юго-западным участком у южной периферии города. В правобережной части г. Мо-

гилева зона минимального загрязнения тяготеет к северо-западной окраине города.

2. В целом в пределах городской черты преобладают территории среднего уровня загрязнения (с показателями концентрации тяжелых металлов в 2-5 раз выше ПДК) и фактически незагрязненные, где показатели концентрации этих элементов ниже ПДК.

3. Основными загрязнителями почв города являются цинк и медь, при этом содержание цинка в большинстве случаев превышает ПДК в 2-4 раза, но на отдельных участках (в районе Завода искусственного волокна и ТЭЦ-1 - в 7-30 раз. Концентрации меди на большей части территории превышают ПДК в 1,5-3 раза. Исключение составляют участки у устья р. Дубровенка и верховьев р. Дебри, где концентрация этого металла превышает ПДК в 6,5 раза.

Работа выполнена при поддержке Швейцарского национального фонда научных исследований (SCOPES 2000-2003, № 7BYPJ06303).

1. Лукашев В.К. // Геохимические исследования ландшафтов Белоруссии и Прибалтики. Мн., 1989. С. 5.

2. Лукашев В.К., Симуткина Т.Н. // Геохимия. 1984. № 4. С. 43.

3. Лукашев В.К., Окунь Л.В. Загрязнение тяжелыми металлами окружающей среды г. Минска. Мн., 1976.

4. Martsinkevich G.I., Shkaruba A.D., Falaleeva M.A. // Materials of 6th international Symposium and Exhibition on Environmental Contamination in CEE and the CIS, Prague, 1-4 September 2003. Prague, 2003. P. 1.

5. Васильева Л.И., Кадацкий В.Б. // Природопользование: Сб. науч. тр. Мн., 1996. Вып. 1. С. 139.

6. Хомич В.С., Какарека С.В., Парфенов В.В. // Там же. С. 134.

7. Какарека С.В., Хомич В.С., Кухарчик Т.И. // Весці Акадэміі навук Беларусі. Сер. хім. навук. 1997. № 1. С. 119.

8. Орлов Д.С. Химия почв. М., 1985.

Э. Москаленко Н.Н., Смирнова Р.С. Экология и охрана природы Москвы и Московского региона: Сб. науч. тр. М., 1990. С. 172.

Поступила в редакцию 10.12.2004.

Галина Иосифовна Марцинкевич - доктор географических наук, профессор кафедры географической экологии.

Антон Дмитриевич Шкарубо - научный сотрудник ЦНИИКИВР.

Ирина Павловна Усова - аспирант кафедры географической экологии. Научный руководитель - Г.И. Марцинкевич.

УДК 631.434

В.Л. АНДРЕЕВА

ОСОБЕННОСТИ ТИПОВ ЗЕМЕЛЬ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «БРАСЛАВСКИЕ ОЗЕРА»

In the article gives information about unique land types of Belarus they go under the name of «fragmental watershed». The characteristic of their variants is given and it assumes both hypsometric level of geosystems, constitution and structure of pedogenic rocks and peculiarities of the structure of forest types and plant association. Types of land are viewed upon as a basis for a steady adaptive nature usage.

Для решения проблем рационального использования почв и их охраны большое значение имеет изучение особенностей пространственной организации почвенного покрова, который располагает более разработанной систематикой почвенно-географических единиц - почвенных комбинаций [1, 2] по сравнению с другими природными компонентами.

Объектом нашего исследования является территория Национального парка «Браславские озера» (НПБО), где сохранились как уникальные, так и типичные природно-территориальные комплексы [3, 4]. Согласно ландшафтному районированию [5] территория парка принадлежит к подзоне подтаежных ландшафтов Поозерской провинции Браславского района.

Исследования структуры почвенного покрова выполнялись по методике, разработанной в БелНИИПА [6]. В результате были выделены повторяющиеся